

MISURA DELLE DISTANZE

1) MISURA DIRETTA

La misura DIRETTA delle distanze consiste nel confronto della lunghezza da misurare con un campione di lunghezza.

La misura diretta di distanze con strumenti comuni ha una accuratezza molto modesta (l'approssimazione è di un decimetro o più su 100 m operando con la massima cura - $\sigma_D/D \approx 10^{-3}$) ed è oggi soppiantata dai distanziometri elettronici: sia quelli topografici, sia quelli più modesti portatili tipo "Disto":



ROTELLA METRICA (nastro graduato)

Per piccoli rilievi di cantiere o architettonici, quando non si dispone di strumentazione topografica e la precisione richiesta è modesta, possono essere utilizzate rotelle in nastro di **acciaio** disponibili di solito nelle lunghezze di 20, 50 o 100 metri.

Con la rotella si misurano direttamente **distanze topografiche**, quindi essa va disposta orizzontalmente (tenuta ben tesa o meglio appoggiata a terra).

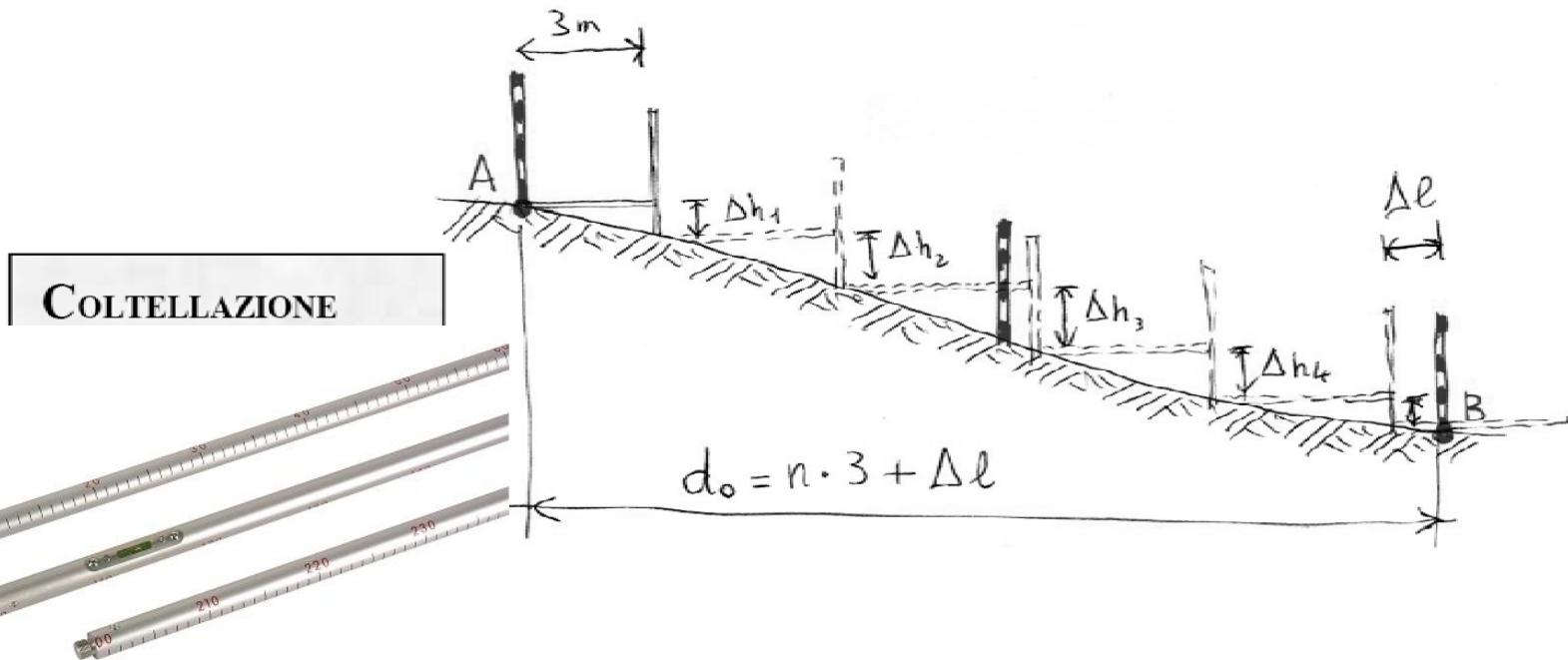
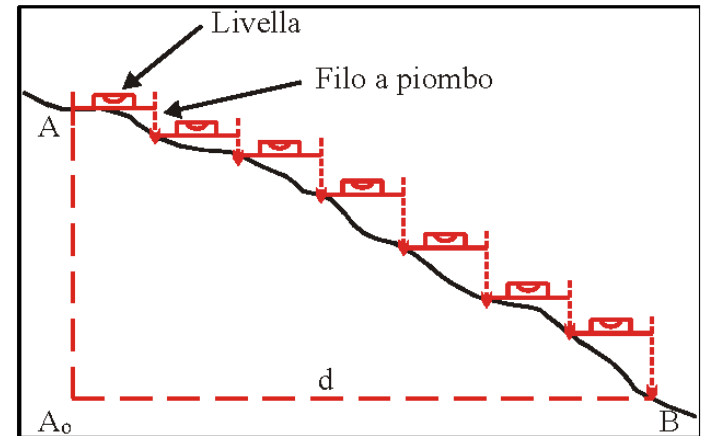
La misura su terreni inclinati con i nastri è difficile e poco precisa. Il nastro tende ad adagiarsi sulle asperità del terreno (catenaria).



TRIPLOMETRI

Sono aste rigide in legno o alluminio, di 3 m di lunghezza (di solito divise in due sezioni avvitabili da 1,50 m) e munite di livella per tenerle orizzontalmente.

Con una coppia di triplometri, seguendo un allineamento individuato sul terreno da una fila di paline, si può rilevare in maniera semplice e intuitiva una sezione del terreno anche su zone in pendenza (antico metodo detto "coltellazione").



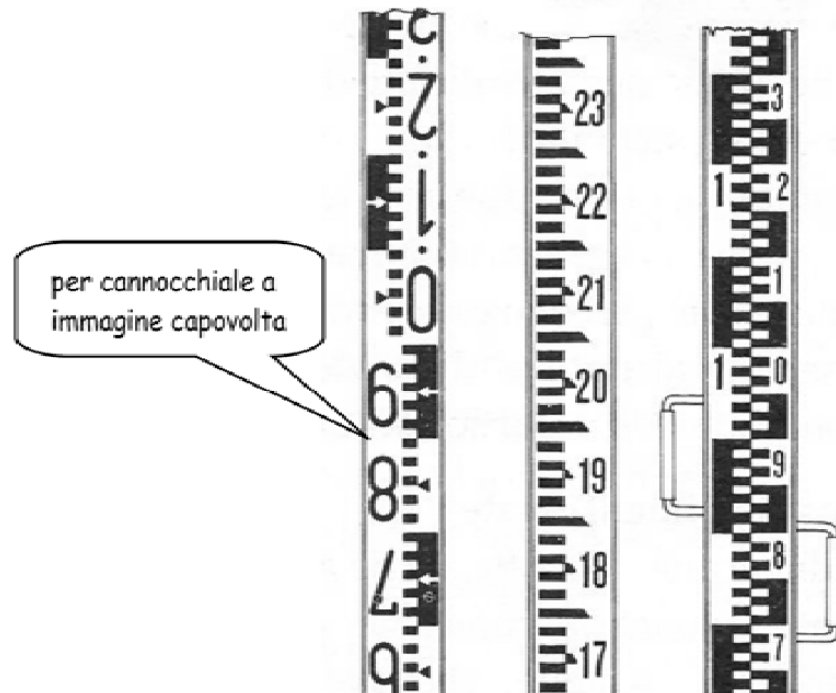
MISURA INDIRETTA DELLE DISTANZE

I metodi di misura INDIRETTA delle distanze (oggi quasi del tutto abbandonati) consistono nel ricavare la distanza dalla misura di un'altra grandezza (un angolo, o un'altra distanza), legata alla distanza incognita da una formula geometrica.

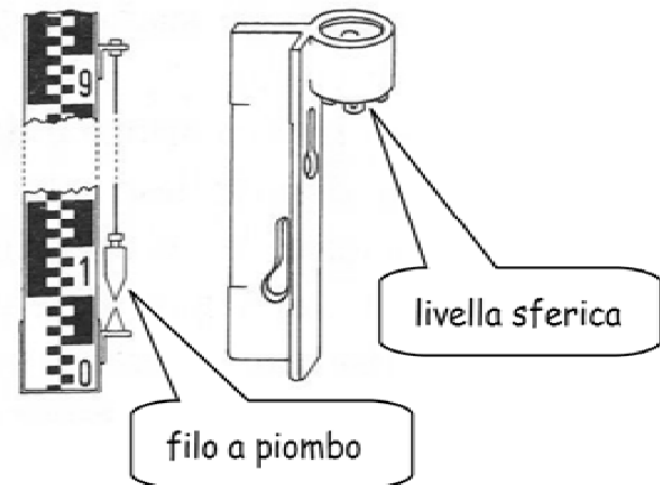
Tra le varie tecniche basate su questo concetto, quella che ha trovato maggior applicazione è la versione ad **angolo parallattico costante e stadia verticale**, molto utilizzata in passato per il rilievo catastale.

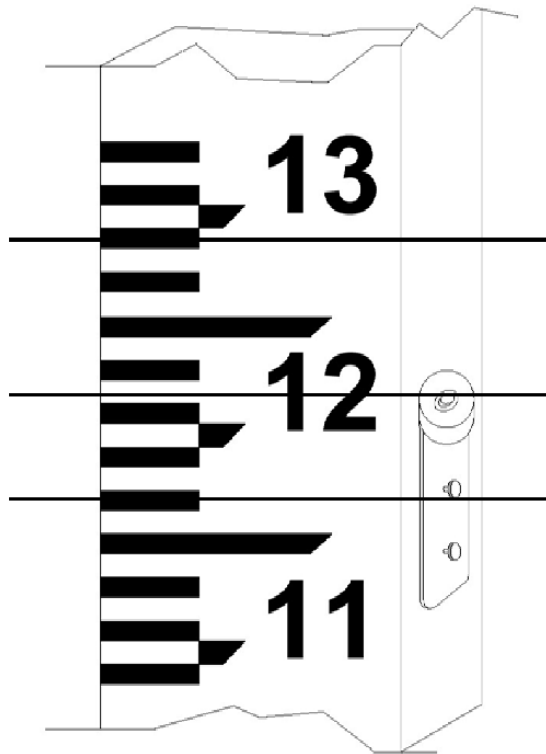
La mappa catastale italiana venne rilevata negli anni 1920-1940 quasi completamente con tale metodo, utilizzando tacheometri (teodoliti di sensibilità $50'' - 1''$ con cannocchiale distanziometrico munito di reticolo a 5 fili) e stadie in legno a graduazione centimetrica.

La **stadia** è un'asta lunga da 2 a 4 metri, che riporta su una faccia una graduazione centimetrica con origine nel punto d'appoggio a terra (tallone della stadia).



per la verticalizzazione della stadia:



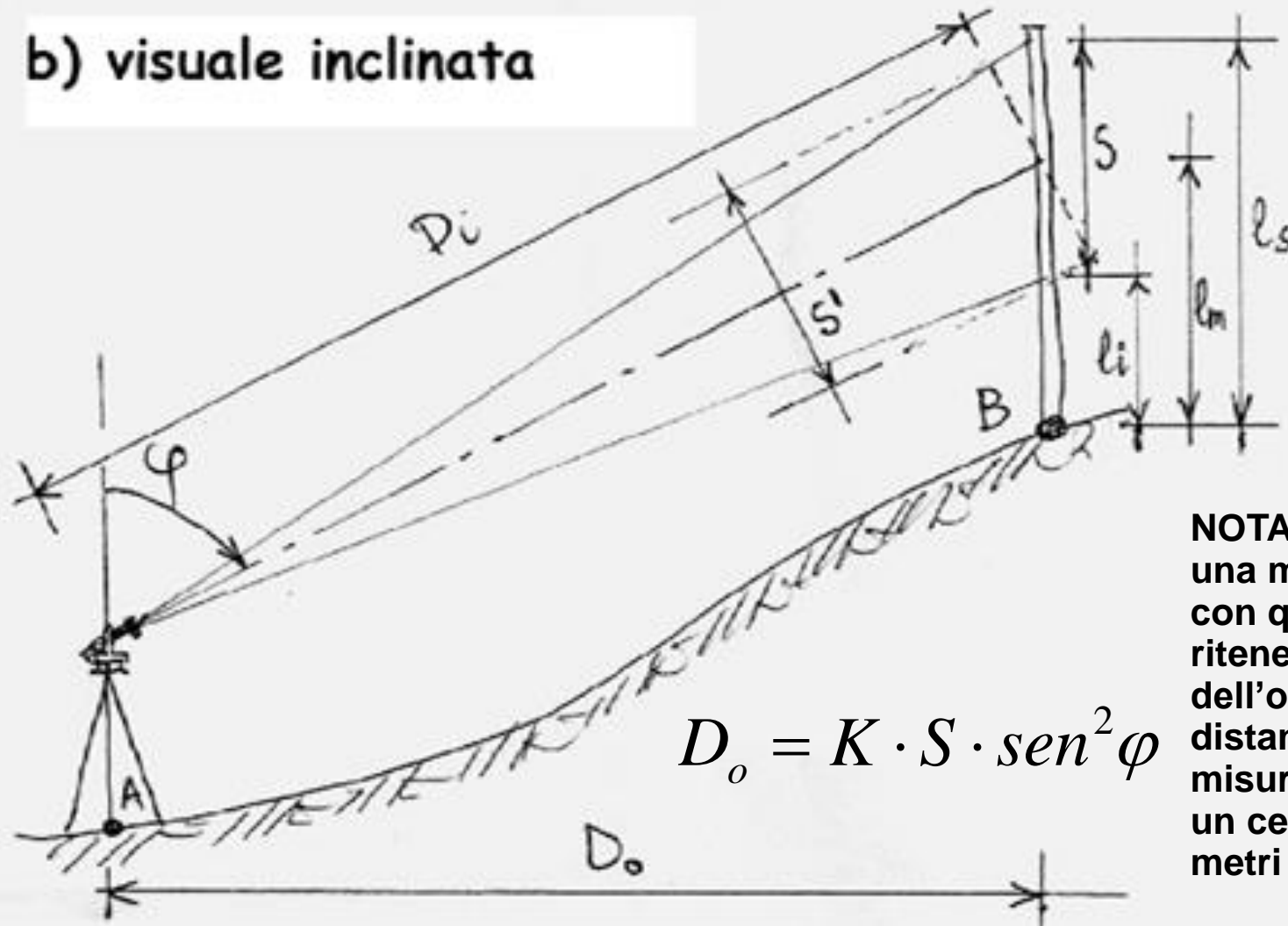


L'angolo parallattico costante si ottiene per mezzo dei fili distanziometrici del reticolo del cannocchiale: i raggi luminosi che passano per tali fili formano l'angolo ω , la cui bisettrice è l'asse di collimazione (filo medio).

Alla stadia si effettuano 3 letture: al *filo inferiore* (l_i), al *filo superiore* (l_s) e al *filo medio* (l_m).

L'intercetta o intervallo di stadia S è data da $l_s - l_i$. La lettura al filo medio si esegue per controllo (deve risultare pari alla media delle letture l_i e l_s) e per determinare il dislivello.

b) visuale inclinata



$$D_o = K \cdot S \cdot \text{sen}^2 \varphi$$

NOTA: l'accuratezza di una misura di distanza con questo metodo si può ritenere mediamente dell'ordine di 15-20 cm. La distanza massima misurabile è dell'ordine di un centinaio di metri circa.

K = costante strumento (o diastimometrica, in genere vale 100)

$$S = l_s - l_i$$

La tecnica indiretta per la misura delle distanze è stata totalmente soppiantata dai distanziometri elettro-ottici, a partire dagli anni 1970-80. Può ancora capitare di utilizzarla in situazioni particolari (indisponibilità di strumentazione moderna a causa di guasti o di batterie scariche, rilievi in paesi in via di sviluppo, ...).

Detti anche **distanziometri a onde**, utilizzano **onde elettromagnetiche** per la misura delle distanze

Un tipo di distanziometri ora non più prodotti utilizzava **onde radio** ad alta frequenza (**MDM** - Microwave Distance Measurement). Si impiegavano due stazioni entrambe attive (emittenti), poste agli estremi della distanza da misurare. La portata era molto elevata, raggiungendo anche i 100 km. In questa categoria ricadevano i *telluometri* utilizzati negli anni 1950-60 dall'IGM per una revisione della rete geodetica nazionale, prima di allora basata su sole **8 basi misurate** con misure dirette di alta precisione.

I distanziometri attuali possono essere considerati "discendenti" da un altro tipo di strumento, il *Geodimeter* di Bergstrand (Svezia, 1943) ed utilizzano tutti **luce infrarossa** (lunghezza d'onda circa 0,7-0,8 micron - campo dell'*infrarosso vicino*) che ha un'ottima capacità di penetrazione nella foschia e nel velo atmosferico.

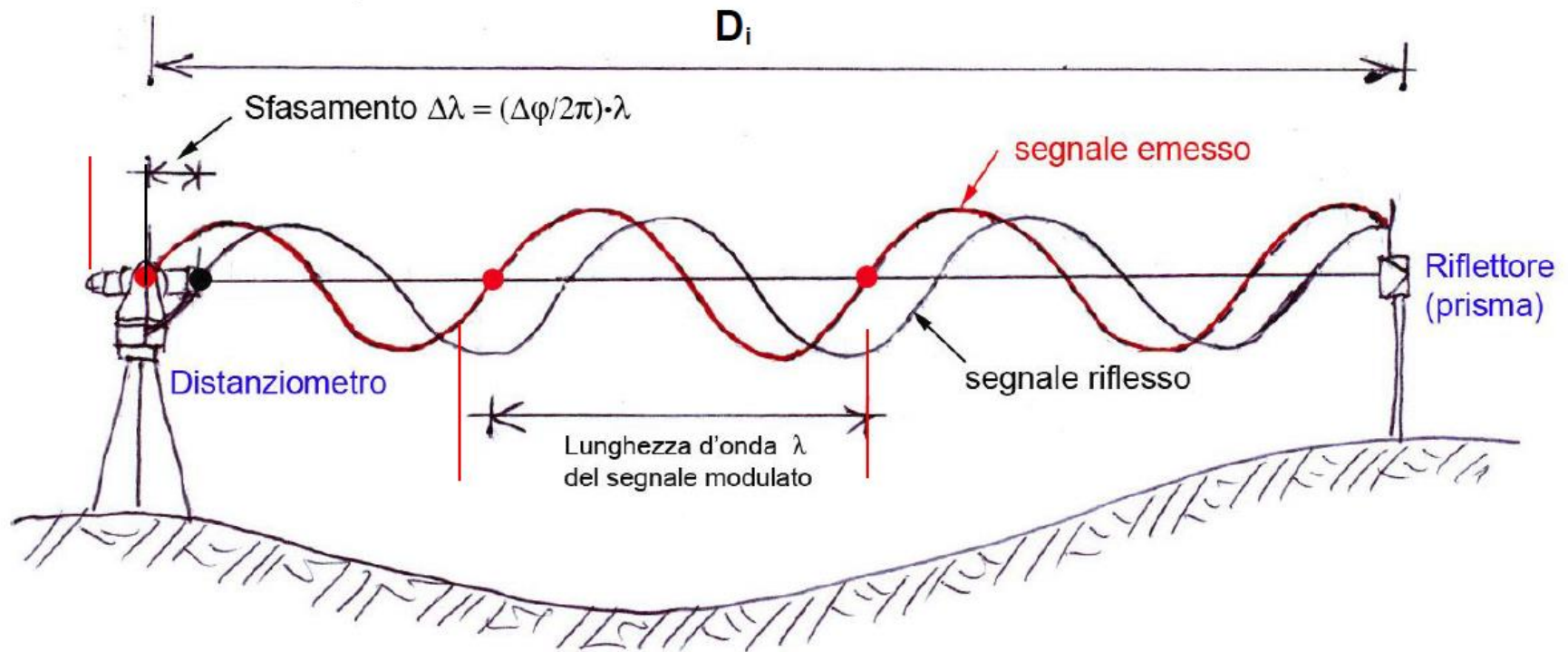
Sono detti **EODM** (Electro Optical Distance Measurement) o semplicemente **EDM** (Electromagnetic Distance Meter).

Esistono due tipologie di distanziometri elettro-ottici:

- EDM a misura di fase
- EDM a impulsi

2.4.1 - EDM A MISURA DI FASE

Utilizzano come campione di misura la **lunghezza d'onda** di un segnale sinusoidale *modulato* su una *portante* infrarossa con la tecnica della *modulazione di ampiezza*.



Il distanziometro emette un fascio di luce infrarossa *modulata in ampiezza** con legge sinusoidale. Il fascio di luce colpisce un *riflettore* (prisma o gruppo di prismi) che lo rinvia indietro deviandolo di 180°. La luce compie quindi un percorso di **andata e ritorno** (sistema definito *Two-Way Ranging System*). Il distanziometro comprende sia un *trasmettitore* sia un *ricevitore*, mentre il riflettore si limita a rinviare indietro la luce (*riflettore passivo*).

La fase del segnale emesso viene confrontata con quella del segnale riflesso da un dispositivo all'interno del distanziometro detto **comparatore** (o *discriminatore*) di **fase**, determinando lo **sfasamento angolare** $\Delta\varphi$ tra le due sinusoidi.

Nel percorso di andata e ritorno (pari al doppio della distanza inclinata) risulta quindi compreso un **numero intero** n di lunghezze d'onda, più una **frazione** di lunghezza d'onda corrispondente allo **sfasamento**.

Sussiste pertanto la seguente relazione (*equazione fondamentale dei distanziometri a misura di fase*):

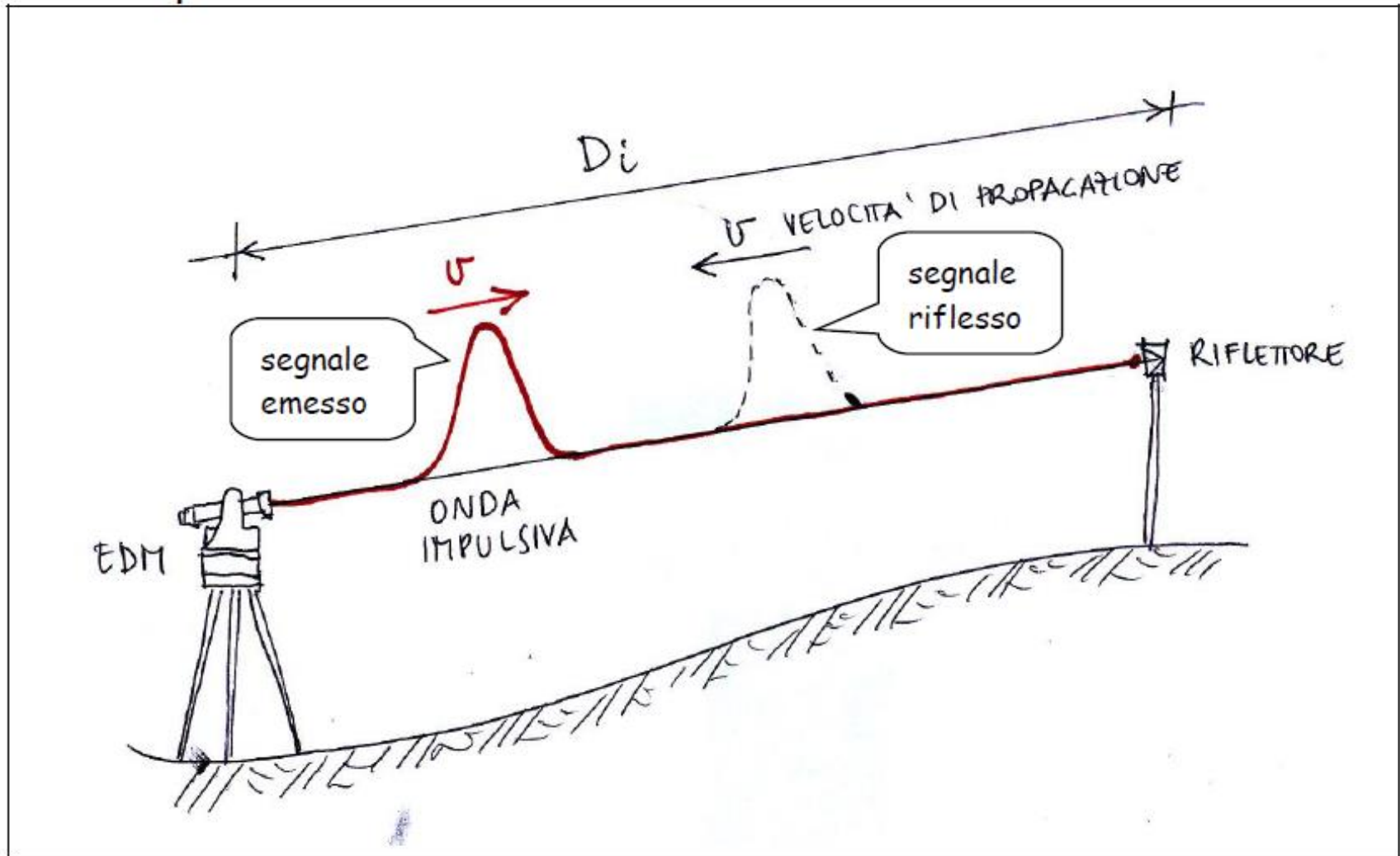
$$2D_i = N \cdot \lambda + \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \cdot \lambda$$

da cui:

$$D_i = \frac{1}{2} N \cdot \lambda + \frac{1}{2} \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \cdot \lambda$$

2.4.2 - EDM A IMPULSI

Utilizzano un metodo concettualmente diverso dal precedente, e più semplice: la distanza viene ottenuta misurando il **tempo di viaggio di un impulso** nel percorso di andata e ritorno della luce infrarossa:



Il distanziometro emette un **impulso** (segnale di brevissima durata ed alta intensità, paragonabile visivamente al lampo di un flash fotografico) di luce infrarossa **laser** (fascio di luce molto sottile e concentrato).

L'**onda impulsiva** (in realtà non è una sola come indicato in figura ma una breve sequenza di impulsi - come una rapida serie di flash in sequenza) compie il percorso di andata e ritorno alla velocità di propagazione v nell'atmosfera. La velocità v si suppone costante ed è stimabile in funzione delle condizioni atmosferiche (p, t, e) come già visto.

La distanza inclinata è proporzionale al tempo Δt necessario all'impulso a compiere il percorso di andata e ritorno:

$$2D_i = v \cdot \Delta t$$

da cui:

$$D_i = \frac{v \cdot \Delta t}{2}$$

Il problema della misura della distanza si riduce allora a quello di determinare il **tempo Δt** con l'accuratezza necessaria.

I distanziometri a impulsi presentano alcuni **vantaggi** rispetto a quelli a misura di fase:

- **maggiore portata** (distanza massima misurabile): a parità di energia emessa, l'impulso ha un'intensità istantanea maggiore rispetto al segnale continuo di un EDM a misura di fase, per cui si propaga nell'atmosfera a distanze maggiori;
- possibilità di misurare **senza riflettore** (EDM *reflectorless*) su brevi distanze (qualche centinaio di metri, fino anche a 1 Km circa con alcuni strumenti recenti), in quanto essendo maggiore l'intensità istantanea della luce, anche il debole riflesso di tipo diffuso dato da una superficie opaca (muratura, intonaco, acciaio, pietra, ...) viene percepito dallo strumento, che riesce a determinare l'istante in cui il segnale di ritorno arriva e a misurare quindi la distanza. Con uno strumento di questo tipo è possibile effettuare il rilevamento di oggetti inaccessibili (ad es. edifici pericolanti, o in proprietà recintate) da una sola stazione e con un solo operatore (non è necessario avere un collaboratore che va a posizionare il prisma).

L'accuratezza, come già detto, è un po' inferiore agli EDM a misura di fase, ma i consistenti vantaggi sopra elencati hanno portato a una vasta diffusione degli EDM a impulsi, che tendono sempre più a sostituire quelli a misura di fase.

PRESTAZIONI DEGLI EDM

Accuratezza = 1-5 mm/km

La **portata** può essere aumentata ricorrendo a riflettori con più di un prisma (il fascio luminoso si allarga con la distanza, e un riflettore più grande ne rimanda indietro una parte maggiore).

Si possono considerare i seguenti valori di massima:

EDM A MISURA DI FASE

Dmax = 1 ÷ 2 km con 1 prisma

Dmax = 3 ÷ 4 km con riflettore a più prismi

EDM A IMPULSI

Dmax = 250 m ÷ 1 km senza prisma

Dmax = 3 ÷ 4 km con 1 prisma

Dmax = sino a 10 km e oltre con riflettore a più prismi



Oltre agli EDM a impulsi incorporati nelle stazioni totali topografiche, esistono altri tipi di strumenti che si basano su misure concettualmente simili:

- EDM portatili da cantiere (ad es. il DISTO della Leica, simile a un puntatore laser) che misurano distanze fino a 100 m circa, e sono utilizzati nel rilevamento architettonico di interni, nelle misure per contabilizzazione, ecc.
- EDM a impulsi di grande portata (oltre 1 km) e accuratezza di qualche cm, installati su un teodolite motorizzato automatico, vengono utilizzati per il rilievo "a scansione" di cave, pareti di roccia e simili;
- I sistemi a *scansione laser* (*laser scanning*) terrestri (per rilievo di edifici) e aeroportati (per il rilevamento da aereo o elicottero del terreno) anche se non sono più dei "distanziometri" ma dei sistemi di rilevamento tridimensionale più potenti e complessi che si fanno in genere rientrare nel campo della Fotogrammetria, utilizzano anch'essi, in sostanza, la distanziometria a impulsi.